

zeichen der Heteropolarität zwischen $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ und dem CuSn macht sich im Zustandsdiagramm deutlich bemerkbar.

So ist die Heteropolarität hier nicht eine Folge der chemischen Neigung der Atome zur Ionenbildung, sondern der Zusammensetzung der Legierung aus Atomen mit verschiedenen Valenzelektronenzahlen. Sie hat aber die gleichen Wirkungen wie in den anderen Gruppen: sie gibt den größten Anteil zur verbindungsbildenden Kraft und bevorzugt Gitter, die näherungsweise innen-zentriert sind. Ein besonderes Problem bildet die Erklärung der Zusammensetzung, bei welchen das innenzentrierte Gitter und die γ -Zelle stabil sind. W. Hume-Rothery hat zunächst empirisch die Regel aufgestellt: Das innenzentrierte Gitter besteht dann, wenn im Durchschnitt das Verhältnis von Valenzelektronen- zu Atomzahl gleich 1,5 ist, das γ -Gitter, wenn es gleich 21/13 ist. Mit Hilfe der modernen Wellentheorie des Elektronengases gelang dann auch eine theoretische Deutung dieser Regel¹⁰⁾: Die Elektronenwellen, von welchen ja infolge des Pauli-Prinzips (Fermi-Statistik) jede eine andere Wellenlänge hat, geraten gerade bei dieser Zusammensetzung in eine Art von Resonanz mit dem betreffenden Gitter, was dann eine, wenn auch relativ kleine Erhöhung seiner Bildungswärme zur Folge hat. Auch in dieser Gruppe ist die Heteropolarität wichtiger als der an sich sehr interessante spezifisch wellenmechanische Effekt.

Auf die zahlreichen Sonderfälle, die sich an die genannten Gruppen anschließen, kann nicht mehr eingegangen werden. Aus den besprochenen Tatsachen wird deutlich geworden sein, wie es der kristallchemischen Forschung gelingt, das Zustandekommen der intermetallischen Verbindungen und Mischkristalle durch die Überlagerung von metallischer, heteropolarer und homöopolarer Bindung zu verstehen.

Prof. Karl T. Compton

Medizin und Physik^{*)}

Kein Zweig von Kunst und Wissenschaft zeigt deutlicher als die Medizin, daß die zunehmende Spezialisierung mit einer zunehmenden Zusammenarbeit der verschiedenen Fachgebiete Hand in Hand gehen muß. In der Frühzeit waren alle Wissenschaften eng miteinander verknüpft, sehr oft in ein und derselben Persönlichkeit. Später traten die verschiedenen Fachgebiete auseinander, um ihre eigene Linie zu verfolgen. Heute finden wir, daß sie wieder zur gegenseitigen Unterstützung zusammenkommen.

Diese Erscheinung wird durch die Entwicklung beleuchtet, welche die Bedeutung des Wortes „Physik“ genommen hat; in der ursprünglichen griechischen Bedeutung ist es das, „was die Natur betrifft“. Das Wort Physik wurde verwendet, um solche Erscheinungen wie die natürliche oder stoffliche Welt im Gegensatz zum Geistigen, Moralischen oder Vorgestellten zu kennzeichnen. Ursprünglich bezog sich das Wort ebenso auf alle Lebewesen einschließlich des menschlichen Körpers wie auf die Erscheinungen der unbelebten Welt. Später nahm es speziellere Bedeutung an, behielt aber stets den zweifachen Aspekt bei, daß es sich einerseits auf die unbelebte Welt und andererseits auf den menschlichen Körper bezog.

Der Beitrag, den die ärztliche Kunst von ihren Schwesterwissenschaften er-

¹⁰⁾ N. F. Mott u. H. Jones: The theory of the properties of metals and alloys. Oxford 1936. — Vgl. auch H. Fröhlich: l. c.

^{*)} Gekürzte Wiedergabe eines Vortrags von K. T. Compton, der in der Zeitschrift „The Journal of the American Medical Association“, Mai 1946 unter dem Titel Medicine and Physics veröffentlicht wurde.

hielt, bestand einesteils in Geräten und Substanzen, anderenteils in einer vertieften Einsicht in den grundsätzlichen Bau und die Funktion des menschlichen Körpers. Aus der Physik kamen Hilfsmittel, wie z. B. das Thermometer, das Stethoskop, der Elektrokardiograph, die Röntgenstrahlen und eine Fülle anderer Hilfsmittel. Vom Chemiker kamen Stoffe wie Medikamente und Drogen, u. a. Radium und synthetische Vitamine. Die Physiologen und Biologen gelangten zu einer exakteren Kenntnis des Aufbaus und der Funktion des menschlichen Körpers. Die Psychologen steuerten ihren Anteil bei, indem sie die verwinkelten Beziehungen zwischen Körper und Seele entwirrten.

Die hinter uns liegende Geschichte der Rockefeller-Stiftung gibt ein vortreffliches Bild von der Wichtigkeit, die weitsichtige Bearbeiter medizinischer Probleme den Schwesterwissenschaften zuschreiben. Diese Stiftung, die stets den größten Nachdruck auf die Entwicklung der medizinischen Wissenschaft gelegt hat, kam vor etwa 25 Jahren nach dem ersten Weltkrieg zu dem Schluß, daß es für die Zukunft besonders wichtig sei, die Forschung auf dem Gebiete der Physik und Biologie in angemessener Weise zu unterstützen. Dieser Entschluß wurde durch Forschungsstipendien zur Unterstützung der Arbeit in den verschiedenen Zweigen verwirklicht. Dieses Programm und ähnliche von anderen Körperschaften haben sich vortrefflich bezahlt gemacht, denn in der vergangenen Dekade entstanden daraus Ergebnisse wie Sulfonamide, DDT, synthetische Vitamine, Hochspannungsgерäte für Röntgenstrahlen, neue Methoden der Strahlungstherapie, radioaktive Indikatoren und viele andere medizinisch wertvolle Ergebnisse. Aus dieser Fülle neuer Hilfsmittel möchte ich in Kürze einige Beispiele nennen, die meiner Ansicht nach die Richtung der Entwicklung zeigen. Die Beispiele sind Gebieten entnommen, mit denen ich direkt oder indirekt in Verbindung stand, und ich möchte nicht beanspruchen, daß diese Beispiele wichtiger seien als viele andere. Sie sind aber sicherlich von Interesse und kennzeichnend für die zukünftige Entwicklung.

I. EINIGE AUSBLICKE FÜR DIE BIOLOGIE

Man kann die gegenwärtige Lage der Biologie mit jener der Physik und Chemie zu Beginn des Jahrhunderts vergleichen, als man gerade entdeckt hatte, daß das Atom, das bis dahin als unteilbar galt, aus elektrisch geladenen Bestandteilen aufgebaut ist und durch Kraftfelder zusammengehalten wird. In der Folgezeit wurde zuerst die äußere Elektronenhülle und dann der innere Kern selbst erforscht, und die neuen Erkenntnisse über Spektren, Ionisierung, Isotope und atomare Energie haben mit erstaunlicher Schnelligkeit eine neue Ära der Physik heraufgeführt. Ganz ähnlich erlauben die neuen experimentellen Hilfsmittel, wie z. B. Ultrazentrifuge, Elektronenmikroskop und radioaktive Indikatoren eine neue Art quantitativer Biologie, die viel leistungsfähiger als die bisherige beschreibende Wissenschaft ist und die uns heute die ersten wichtigen Einsichten in den Aufbau und die Feinstruktur der lebenden Substanz liefert. Man hat alle Ursache zu glauben, daß diese Entwicklung der quantitativen Biologie eine neue Epoche für das Verständnis und die Beherrschung der grundsätzlichen Lebensprozesse erschließt. Ein paar Erklärungen sollen die künftigen Möglichkeiten zeigen.

Dr. Avery und Mitarbeiter am Rockefeller-Institut haben die Nucleinsäure der Capsula, die den Pneumococcus umgibt, isoliert. Es gibt ein paar Dutzend Pneumococcen-Stämme, deren spezifische Eigenart anscheinend von den Substanzen in der Capsula herrührt. Man kann die Capsula so entfernen, daß der Organismus am Leben bleibt, jedoch nicht mehr virulent ist; bis sich eine neue Capsula gebildet hat. Wenn gereinigte Nucleinsäure,

die von einem Stamm isoliert wurde, zu den Coccen eines anderen Stammes, wo die Capsula entfernt wurde, zugegeben wird, hat die daraus gebildete Mikrobe die genetischen und pathogenen Eigentümlichkeiten jenes Stammes, aus dessen Capsula die Nucleinsäure gewonnen wurde. Es liegt hier ein Modell der Wirkungsweise der Gene vor, von denen man gleichfalls annehmen muß, daß sie Nucleoproteine enthalten. Im Unterschied zu den Genen handelt es sich bei der Nucleinsäure aus der Capsula um eine reine Verbindung. Die Reproduktionsfähigkeit von Viren und Zellbestandteilen ist eng an die Gegenwart von Nucleinsäure gebunden. Die Versuche von Dr. Avery lassen vermuten, daß die Nucleinsäure, vielleicht in Verbindung mit einem spezifischen Eiweißkörper, in der Art eines Gens wirkt.

Im letzten Jahrhundert wurde angenommen, daß Enzyme in aktiver Form niemals von der lebenden Zelle isoliert werden können. Heute wissen wir, daß es sich bei den Enzymen um Eiweißmoleküle handelt, die abgetrennt, gereinigt und mit physikalischen und chemischen Hilfsmitteln untersucht werden können. Wird sich diese Entwicklung bei den Genen, die die Erbeeigenschaften bestimmen, wiederholen? Wird es möglich sein, die Erbeeigenschaften höherer Formen, als es Bakterien sind, durch Gaben isolierter 'Gene' oder entsprechender Genaktivatoren zu bestimmen?

Als weiteres Beispiel wollen wir Stoffe mit antibiotischer Wirkung betrachten. Dabei handelt es sich um Substanzen, die keine Giftwirkung auf Körperzellen haben, aber die Vermehrung von Mikroorganismen verhindern. Unter ihrem Einfluß können die Mikroben zwar wachsen, sich aber nicht vermehren. Diese Tatsache hat bereits ungewöhnliche Bedeutung für die Medizin gewonnen. Sobald die Struktur von einzelnen antibiotischen Stoffen, wie Penicillin und Streptomycin, bekannt ist, ist es darüber hinaus sehr wohl möglich, daß der organische Chemiker verschiedene Gruppen des Moleküls abändert. Dabei besteht die Hoffnung, daß künstliche Antibiotika erzeugt werden, die auch solche Krankheiten beeinflussen, für die bis jetzt kein Naturstoff gefunden werden konnte.

Ein weiteres Beispiel ist die Hemmung von Enzymreaktionen. Ein Enzym hat chemische Gruppen, die an spezifischen Substanzen bestimmte Änderungen veranlassen. Wenn ein Stoff, welcher der spezifischen Substanz eng verwandt ist, zu dem Enzym gegeben wird, bindet er die aktive Gruppe und vergiftet damit das Enzym. Wenn man dann die spezifische Substanz zugibt, erfolgt keine Reaktion mehr. So ist z. B. das Enzym Cholinesterase, welches Acetylcholin spaltet, ein starkes Anregungsmittel für die Nerven und ein Hormon, das weiche Muskelkontraktion hervorruft. Wenn man Körpergewebe mit Physostigmin behandelt, das eine chemische Gruppe ähnlich der des Acetylcholins enthält, wird das Enzym vergiftet. Physostigmin wird seit Jahren pharmazeutisch verwendet, aber der Mechanismus ist in seiner Wirkung erst seit kurzem bekannt. Eine Reihe von Forschern haben diese Spur verfolgt und die Wirkung zahlreicher Verbindungen, die den normalen Nährsubstanzen der Bakterien chemisch nahe verwandt sind, untersucht. Es besteht dabei die Hoffnung, daß diese anderen Substanzen in der Konkurrenz um die Enzymmoleküle die Nährstoffe verdrängen, so daß die Bakterien verhungern.

Ein weiteres Beispiel auf diesem Gebiet ist schließlich die Entwicklung neuer Verfahren in der Verwendung des Elektronenmikroskops, womit dieses Gerät gerade für die Untersuchung biologischen Materials besonders leistungsfähig geworden ist. Feinstruktur in gewissen fadenförmigen Eiweißen ist bereits entdeckt worden, und viele Eiweißmoleküle wie Albumin, Globulin und Fibrinogen werden vielleicht bald direkt sichtbar gemacht werden können. Bisher mußten die Formen dieser Moleküle mittels indirekter Verfahren bestimmt werden; jetzt, wo es möglich ist, sie direkt zu

sehen, beginnt ein neuer Abschnitt der Erforschung verschiedener biologischer Einheiten wie z. B. der Viren. Im Kriege wurde mit dem Elektronenmikroskop das Grippevirus isoliert und photographiert, sowie sein chemischer Aufbau bestimmt. Auch Enzyme und Chromosomen lassen sich jetzt direkt mit dem Elektronenmikroskop beobachten, und es scheint möglich, daß sich damit die physikalischen Grundlagen des Genmechanismus, der die Vererbung bestimmt, klären lassen.

Bei all diesen Beispielen möchte ich nicht den Eindruck erwecken, daß alle diese Fragen gelöst seien. Was ich zeigen möchte, ist, daß die neuen und leistungsfähigen Hilfsmittel der Forschung weit fortgeschritten sind und uns die Zuversicht geben, daß wir jetzt an der Schwelle einer Periode stehen, in der man grundsätzliche und bedeutende Einsichten in der Biologie gewinnen wird, aus denen sich medizinische Anwendungen ergeben werden.

II. BEISPIELE AUS DER PHYSIK

Von den neuen bedeutenden Hilfsmitteln, die die Physik für die Medizin geschaffen hat, will ich nur ein paar Beispiele geben.

Radium- und Röntgentherapie für Krebs werden schon seit Jahrzehnten ausgeführt. Seit erst einer Dekade jedoch sind sehr durchdringende Röntgenstrahlen, die mit Spannungen von einer Million Volt und mehr erzeugt werden, verfügbar geworden, und zwar als Nebenergebnis der Entwicklung von Generatoren für Höchstspannungen, die von den Physikern zur künstlichen Umwandlung von Atomkernen ausgeführt wurden. Es gibt noch eine andere vielversprechende Aussicht mit einer Abänderung der Röntgentherapie, nämlich die direkte Verwendung von Elektronen. Statt der Bestrahlung des Gewebes mit Röntgenstrahlen können auch Elektronen eingeschossen werden. In beiden Fällen wird die biologische Wirkung durch denselben Mechanismus hervorgebracht, nämlich durch die Einwirkung von Sekundärelektronen, die im Gewebe selbst erzeugt werden, auf die lebende Zelle. Für die therapeutische Wirkung bleibt es gleich, ob diese Sekundärelektronen durch Röntgenstrahlen oder rasche Kathodenstrahlen ausgelöst werden. Der Unterschied zwischen beiden spielt aber für die Behandlung des Patienten eine große Rolle, und zwar wegen des eigenartigen Verhaltens der Kathodenstrahlen beim Durchgang durch Materie. Solange sich die Elektronen mit großer Geschwindigkeit bewegen, lösen sie nur relativ wenig Sekundärelektronen aus; am Ende ihrer Bahn dagegen, wenn sich ihre Geschwindigkeit durch die Wirkung der Materie verlangsamt hat, erzeugen sie die meisten. Die Bedeutung dieser Eigenart bei der Krebsbehandlung läßt sich an folgendem Beispiel zeigen: Es soll ein Karzinom behandelt werden, das im Unterleib zwei bis drei Zentimeter unter der Körperoberfläche liegt. Elektronen bzw. Kathodenstrahlen, die mit einer Spannung von 5 Millionen Volt beschleunigt werden, dringen im Körper etwa in diese Tiefe ein. Wenn man die Strahlung auf die Geschwulst richtet, erzeugt sie in den oberen Schichten nur wenig Sekundärelektronen und damit nur geringe biologische Wirkung, in der richtigen Tiefe aber, gerade bevor die Elektronen zur Ruhe kommen, liefert sie ein Maximum, so daß diese Schicht die größte Dosis erhält. Die übliche Röntgenbehandlung hat den Nachteil, daß die Dosis an der Eintrittsstelle am größten ist und mit der Tiefe abnimmt.

Unter allen physikalisch-chemischen Verfahren hat jedoch meiner Ansicht nach die Anwendung von künstlichen radioaktiven Stoffen in der Medizin die größte Zukunft, und zwar einerseits als Indikator und andererseits als pharmazeutisches Präparat. Ich möchte zwei Beispiele nennen, um die weite Möglichkeit der Anwendung zu zeigen.

Vor 10 oder 12 Jahren interessierten sich Dr. Means und Dr. Hertz für die

Möglichkeit, ob man radioaktives Jod für die Lokalthherapie der Schilddrüse verwenden könne, insbesondere bei bösartigen Kropferkrankungen. Sie arbeiteten dabei mit Prof. R. Evans zusammen, der das Zyklotronprogramm des Massachusetts Institute of Technology leitet und der erste Fachmann Amerikas für die Verwendung radioaktiver Indikatoren und der quantitativen Messung radioaktiver Spuren ist.

Zunächst wurden einige Versuche gemacht, um festzustellen, wieviel Jod von der Schilddrüse aus dem Blutkreislauf aufgenommen wird und wie rasch dies geschieht. Dazu wurde mit dem Zyklotron radioaktives Jod hergestellt. Bei den ersten Versuchen wurde die Substanz in Kaninchen injiziert. Man fand, daß innerhalb von fünf Minuten alles Jod, das von der Schilddrüse überhaupt aufgenommen werden kann, absorbiert wird, wobei die Schilddrüse relativ 20- bis 200mal mehr Jod aufnimmt als irgend ein anderes Organ oder Gewebe. Wenn das Kaninchen auf Hungerdiät bezüglich Jod gewesen war oder natürlichen Kropf hatte oder wenn es sich um ein trächtiges Weibchen handelte, wurden noch größere Werte für die Jodaufnahme beobachtet. Alle quantitativen Messungen wurden mit Hilfe des Geigerschen Zählers gemacht, dieses erstaunlich empfindlichen Instruments, das über die Ionisierung der Luft das radioaktive Jod entdeckt und durch Abzählen einzelner Atome seine Menge bestimmt.

Später wurden ähnliche Versuche an Menschen ausgeführt, die dann von Dr. Chapman zusammen mit Dr. Means und Dr. Evans fortgesetzt wurden. Der nächste Schritt war die Einführung von radioaktivem Jod in solcher Menge, daß durch die Strahlung der von der Schilddrüse aufgenommenen Substanz eine lokale therapeutische Wirkung in der Drüse selbst bewirkt wurde. Soweit mir bekannt wurde, wurden über 20 Patienten nach diesem Verfahren mit gutem Ergebnis behandelt.

Ein anderes Beispiel soll die Verwendung radioaktiver Elemente als Indikatoren zeigen. Da der radioaktive Zerfall mit dem Geigerschen Zählrohr festgestellt werden kann, ist es möglich, daß diese Stoffe zu irgendeinem späteren Zeitpunkt genau und quantitativ lokalisiert werden können. Wenn man etwa einen Schluck Wasser genommen hat, das eine Spur Kochsalz enthält, dessen Natrium im Zyklotron radioaktiv gemacht wurde, dann läßt sich mit dem Zählrohr bestimmen, wie schnell dieses Salz durch die Magenwandung ins Blut übergeht und irgendeinen Teil des Körpers erreicht.

Das interessanteste Beispiel dieser Methode aus jüngster Zeit sind die Arbeiten zur Blutkonservierung für Transfusionen während des Kriegs. Diese Arbeiten wurden unter Leitung von Dr. J. Gibson, Dr. J. Aub und Prof. R. Evans ausgeführt. Wegen seiner Bedeutung als Bestandteil des Hämoglobins wurde radioaktives Eisen als Indikator verwendet. Es wurden zwei verschiedene radioaktive Eisenisotope benutzt; das eine wurde im Zyklotron durch Beschießen von Kobalt, das andere durch Beschießen von Mangan hergestellt. Die Isotope ließen sich bei späteren Messungen leicht unterscheiden, weil die Zerfallskonstante des ersten $5\frac{1}{2}$ Jahre und die des zweiten 47 Tage ist. Bei den Versuchen zur Bluttransfusion wurde das eine Isotop beim Blutempfänger injiziert, um seine roten Blutkörperchen zu kennzeichnen, das andere beim Blutspender, um die abgegebenen Blutkörperchen zu markieren. Damit wurden einige sehr wichtige Untersuchungen ausgeführt. Eine davon beschäftigte sich mit der Reaktion der verschiedenen Blutgruppen aufeinander. Man konnte z. B. herausfinden, ob das Blut von einem Spender der Blutgruppe O mit hohem Anti-A-Titer im Empfänger von anderer Blutgruppe seine Potenz verliert und umgekehrt. Hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen Blutgruppen wurden einige Entdeckungen gemacht, die den Erfolg von Bluttransfusionen sichern.

Der größte Erfolg dieses Verfahrens in der Kriegszeit war jedoch die Entwicklung der Konservierungsmethode für Blut und die Aufstellung von Normen für das große Blutspender-Programm. Durch die Markierung des Eisens im Spenderblut kann man direkt messen, wie brauchbar das Blut nach verschiedenen Lagerfristen bei verschiedenen Temperaturen und unter Beimischung verschiedener Konservierungsmittel noch ist. Man muß nur das gelagerte Blut dem Empfänger zuführen und kurz darauf den Betrag an Spenderblut bestimmen, das noch aktiv im Blutkreislauf ist. Auf Grund dieser Messungen wurde die amerikanische Norm eingeführt, daß nach 21 Tagen Lagerung noch mindestens 70% der zugeführten Blutkörperchen nach einer Frist von 24 Stunden seit der Transfusion im Blutkreislauf des Empfängers sein müssen.

III. UMWANDLUNG VON ERBEIGENSCHAFTEN

In den letzten 10 oder 20 Jahren hat sich das Interesse sehr stark auf die Veränderung von Erbeigenschaften mittels Röntgenstrahlen oder Neutronenstrahlen konzentriert. Das bekannteste Beispiel ist die Drosophila oder Taufleie, bei der eine gewisse Wahrscheinlichkeit besteht, daß nach der Bestrahlung neue Eigenschaften auftreten. Besonders interessant ist die Gewinnung neuer Pflanzenarten, indem man das Saatgut starker Röntgenstrahlung aussetzt. Um nur ein Beispiel zu nennen: Es wurde eine neue Tabakpflanze mit einem $4\frac{1}{2}$ Meter langen Blatt erzeugt.

Für die Medizin ist diese Erscheinung von Interesse, weil durch die Wirkung der Röntgenstrahlen, Neutronen oder anderer Partikel hoher Geschwindigkeit neues biologisches Material hergestellt werden kann. Dabei kann es sich um neue Stämme gefährlicher Keime handeln, etwa um eine neue Art von Grippe, es können aber auch für die Medizin nützliche Stoffe entstehen, die, wie Penicillin oder Kräuterauszüge, aus lebender Substanz gewonnen werden. Die Versuche sind weit genug fortgeschritten, um zu zeigen, welche zukünftigen Möglichkeiten in dieser Entwicklung liegen und um anzudeuten, daß hier ein unübersehbar weites Feld großer Bedeutung für die Medizin liegt, an dessen Schwelle wir jetzt stehen. Dieser Bereich wurde durch Röntgenstrahlen und Zyklotrons erschlossen. Wahrscheinlich werden die großen Uranbatterien, die im Zusammenhang mit der Atombombe entwickelt wurden und die gewaltige Strahlungsmengen abgeben, neue Hilfsmittel für die wissenschaftliche Medizin liefern.

Dr. J. v. Harlem

Großversuche mit Elektromagneten

Methoden des Räumens magnetischer Minen gaben die Möglichkeit, mit räumlich sehr ausgedehnten Magnetfeldern zu experimentieren. Die Verfahren werden den Lesern sehr viel mehr an die Physik der 2. Hälfte des vorigen Jahrhunderts erinnern als an den letzten Krieg.

Die im Kriege benutzten magnetischen Fernzündungsminen sprachen auf die Änderung des Erdmagnetismus durch den eisernen Schiffskörper an. Dabei wurde sowohl die Änderung der Vertikal- wie der Horizontalintensität ausgenutzt. Die Zündeinrichtung arbeitete nach dem

Magnetometer- oder Induktionsprinzip. Zur unmittelbaren Abwehr wurde zunächst versucht, das Schiffsfeld durch eingebaute Stromschleifen herabzumindern bzw. das Schiff durch Magnetfelder so zu behandeln, daß die Erdfeldstörung möglichst klein wurde. Der sicherere